

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВОЙ ЛИТОЙ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ CR-NI-MN-MO-N СТАЛИ

С.О. Мурадян

Руководитель – доцент, д.т.н. М.В. Костина

Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва

muradianso@gmail.ru

В работе исследовали структуру и механические свойства отливки из новой нержавеющей высокопрочной высокоазотистой (~0,5 %N) аустенитной стали 05X22AG15H8M2ФЛ. В деформированном состоянии данная сталь характеризуется в 2-2,5 раза более высокими механическими свойствами и высоким уровнем коррозионной стойкости по сравнению со сталями типа 12X18H10T. Предполагалось, что и в литом состоянии новая сталь будет иметь высокую прочность, пластичность и коррозионную стойкость.

Отливка из стали 05X22AG15H8M2ФЛ с 0,47% азота представляет собой 9-ти ступенчатую плиту размером 280 x 525 мм весом 35 кг с толщиной ступеней от 50 мм до 1 мм. Отливка имеет три типичных зоны кристаллизации: корковая зона, зона столбчатых кристаллов, зона равноосных кристаллов (рис.1) [1].



Рис. 1. Макроструктура отливки.

Из ступени толщиной 30 мм были изготовлены образцы для механических испытаний на растяжение и ударный изгиб по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-78 соответственно. Результаты испытаний данных образцов представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, в литом виде (без ТО) сталь довольно хрупкая (относительное удлинение и сужение минимальны, так же как и ударная вязкость), однако после высокотемпературных гомогенизирующих нагревов с последующей закалкой пластические свойства металла значительно возрастают. При этом наблюдается также существенный прирост предела прочности. Предел текучести увеличивается только после выдержки при 1200°C.

Таблица 1. Механические свойства литой и после термической обработки (ТО) стали 05X22AG15H8M2ФЛ при 20°С

Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$, (МПа)	σ_B , (МПа)	δ , (%)	ψ , (%)	KCU, МДж/м ²
1. Литой металл (без ТО)	392...396	447...451	2,9...2,5	1,0...1,0	0,11...0,10
2. Закалка 1100°С, 1 ч, охл. в воде	383...404	671...712	36...33	51...47	1,98...2,00
3. Закалка 1100°С, 4 ч, охл. в воде	378...378	695...679	38...36	51...52	2,33...2,83
4. Закалка 1200°С, 1 ч, охл. в воде	423...431	729...750	34...37	48...59	2,45...2,73

Были проведены исследования эволюции литой структуры при температурах отжига перед закалкой 1100, 1150 и 1200°С и длительности выдержки при этих температурах 1-8 ч. Среднее значение микротвердости дендритов в литом металле HV составило 1300, среднее значение микротвердости матрицы 361. По данным сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа (МРСА) дендриты обогащены хромом (на 3-6%) и обеднены никелем и марганцем (на 3-5%) по сравнению с матрицей.

Изображения литой структуры после выдержек при 1100°С 1-8 ч (рис.2) свидетельствуют, что выдержки 8 ч при этой температуре недостаточно для диссоциации дендритов и гомогенизации структуры литого металла. Только при температурах 1150-1200°С и выдержке 8 и 6 ч, соответственно, происходит полная гомогенизация литой стали.

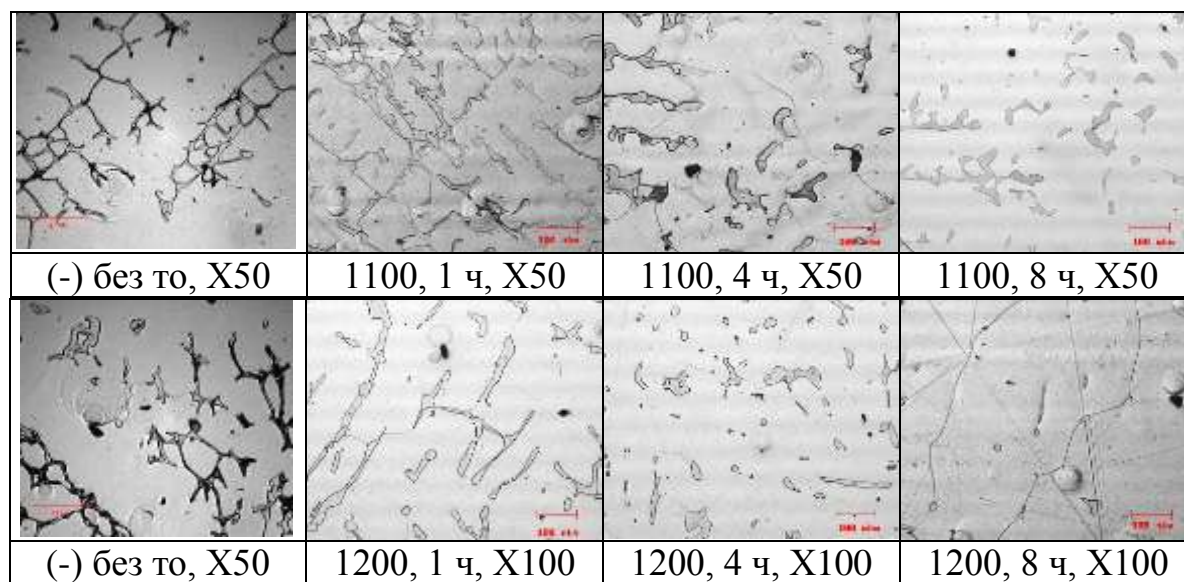


Рис. 2. Микроструктура стали 05X22AG15H8M2ФЛ после различных ТО.

Методом рентгеновского фазового анализа (РФА, на установке ДРОН-3) было установлено, что литой металл представляет собой аустенит с небольшим количеством σ -фазы и следами феррита. Количество феррита в литой и термически обработанной стали определяли, используя ферритометр (вихретоковый прибор МВП-2М). В литом состоянии феррит в металле практически отсутствует ($\sim 0,24\%$), однако уже после получасовой выдержки

при 1100-1200°C его количество возрастает до 4 %. В дальнейшем, по мере увеличения продолжительности выдержки и повышении температуры ТО количество феррита снижается до 0,04 ($\pm 0,05$)%.

Анализируя изображения микроструктуры после выдержек при 1150 и 1200°C, 1 и 4 ч, данных ферритометрии, микротвердости, РФА и МРСА можно утверждать, что изначально в литом металле в составе дендритов присутствует σ -фаза, характеризующаяся высокой твердостью и немагнитностью. Результаты РФА, МРСА и измерений микротвёрдости согласуются и с приведенными в [2] изотермическими сечениями сплавов Fe-Cr-Ni. На этих сечениях при 600-800°C имеется σ -фаза с содержанием хрома от 23%; при температурах 1000°C и более данная фаза в этих сплавах отсутствует. Поскольку отливка охлаждалась в песчаной форме, металл отливки пребывал при температурах 600-800°C достаточно длительное время, при котором могла образоваться σ -фаза. Выдержки при 1100, 1150 и 1200°C приводят к превращению $\sigma \rightarrow \delta + \gamma$, на месте обогащенных хромом дендритов с сигма-фазой образуются островки δ -феррита. По мере увеличения температуры и продолжительности тепловых выдержек проходит гомогенизация структуры, растворение нитридов хрома и обогащение γ -твёрдого раствора азотом. В результате этих процессов количество δ -феррита снижается практически до нуля.

Таким образом, новая нержавеющая высокопрочная сталь 05X22AG15N8M2ФЛ в литом исполнении, в зависимости от температуры и длительности выдержки при гомогенизирующем отжиге, может иметь как практически полностью аустенитную (немагнитную) структуру, так и содержать небольшое (до 4-5%) количество феррита. Упрочнение этой стали определяется концентрацией азота в аустенитном твёрдом растворе, поскольку исходный размер зерна литой стали (более 500 мкм) не позволяет говорить об упрочнении за счёт границ зерен.

Проведенное исследование показало, что сталь 05X22AG15N8M2ФЛ значительно превосходит по уровню и сочетанию механических свойств традиционно применяемые коррозионностойкие аустенитные деформируемые стали типа 12X18Н10Т ($\sigma_{0,2}$ — 200 МПа, σ_b — 500 МПа, δ — 40%, ψ — 60%, $KCU=2,44$ МДж/м²). Сочетание у новой стали после гомогенизирующей ТО высокой прочности и пластичности характеризует эту сталь как перспективный и высокотехнологичный материал, для изготовления из него способом литья ответственных деталей для судового, энергетического, нефтехимического и др. видов оборудования, работающего в условиях агрессивных сред, высоких температур и давлений.

Ссылки:

1. И.Н. Голиков, С.Б. Масленков. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. М., «Металлургия», 1977, 224 с.
2. G.V. Raynor and V.G. Rivlin, Phase Equilibria in Iron Ternary Alloys, The Institute of Metals, London, (No. 4), 1988